

FARKLI KÖPÜK ASFALT ÜRETİMLERİNİN İNDİREKT ÇEKME MUKAVEMETİ DEĞERLERİNİN KİYASLANMASI

Serdal TERZİ¹ Hüseyin AKBULUT² Kemal Muhammet ERTEN³ Muhammet KOMUT⁴ Ahmet SAĞLIK⁴ Nedim Savaş TUTAN⁵ Kübra ÇALIŞKAN⁵

ÖZET

Geri dönüşüm teknolojisindeki gelişmeler ve ülkelerin bu konudaki bilincinin artması, asfalt sektöründe geri dönüşüme yönelimi giderek artırmaktadır. İnşaat sektörünün farklı alanlarında kullanılan birçok ürünün geri dönüştürülerek asfalt kaplamalarda kullanılabilmesi için çalışmalar hızla devam etmektedir. Şüphesiz bu geri dönüştürülen ürünlerden en fazla fayda sağlanan çalışmalardan bir tanesi Köpük Asfalt uygulamasıdır.

Çalışmada, köpük asfaltın sürdürülebilir kalkınmaya katkılarının bahsedilmiştir. Buna bağlı olarak ülkemizde köpük asfalt uygulamasını en etkili şekilde gerçekleştirebilmek amacıyla, laboratuvar ortamında hepsi de 50/70 sınıfı bitümle üretilen ancak köpürtme ısısı, köpürtme suyu, üretim suyu ve şartlandırma koşulları açısından farklılıklar gösteren dört köpük asfalt üretimi, İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) değerlerine göre kıyaslanmıştır.

1. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA

1987’ de birleşmiş milletler dünya çevre ve kalkınma komisyonunun ortak geleceğimiz başlıklı raporuna göre ülkelerin ekonomik faaliyetleri için amacı; ‘Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamalarından ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılamak’ olmalıdır. (1)

Bu hedef sürdürülebilirliğin altında yatan temel fikri tam olarak karşılamaktadır.

Sürdürülebilirlik, bir kaynağı kullanabilmenin yöntemi olarak tanımlanabilir böylece ikinci bir kaynak kalıcı olarak zarar görmemiş ya da tükenmemiş olur. (2)

Sürdürülebilir ulaşım planlaması, uzun vadeli ekonomik verimlilik, eşitlik, çevresel ve sosyal gelişim de dahil olmak üzere geniş bir hedef yelpazesini içermektedir. (3)

1. Prof.Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta

2. Prof.Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Afyonkarahisar

3. Öğr.Grv., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Dazkırı MYO, Yapı Denetimi, Afyonkarahisar

4. Şube Müdürü, KGM AR-GE Daire Başkanlığı, Ankara

5. KGM AR-GE Daire Başkanlığı, Ankara

Sürdürülebilir ulaştırmanın ve kalkınmanın en önemli hedefi geri kazanımdır.

Yapıların çevresel etkilerinin en düşük düzeyde olmasını sağlamak, çevresel ve yapısal sürdürülebilirlik için yapım üretim sürecinin bütün aşamalarının dikkate alınması gerekmektedir. Bir yapının yaşam sürecinde oluşan çevresel etkilerin yaklaşık % 10' unun kullanılan yapı malzemelerinden kaynaklandığı göz önüne alındığında, yapı malzemesi seçiminin önemi ön plana çıkmaktadır. Çoğu yeniden kullanılabilir ve/veya geri dönüştürülebilir olan bu malzemeler ile inşaat sektörünün çevresel etkileri azaltılabilir. Bu şekilde inşaat sektöründen kaynaklanan yapısal atıkların, kontrolsüz bir şekilde doğaya bırakılmasının, dolayısıyla da toprağın ve su kaynaklarının kirlenmesinin önüne geçilebilecektir. (4)

2. ASFALT GERİ DÖNÜŞÜM TEKNİKLERİ ve FAYDALARI

Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Fransa, Almanya, İspanya ve Avustralya gibi ülkelerde geri dönüşüm teknikleri hızla gelişmiştir. Ayrıca bu teknikler, kirlilik sorunlarını ciddi olarak azaltma, kaplama ömrünü uzatma ve inşaat maliyetlerini azaltma potansiyeli nedeniyle tüm dünyada kullanılmaktadır. (5)

Bozulmuş veya ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların yol yüzeyinden kazınarak yeni yapılacak sıcak asfalt karışımlarda yeniden kullanılmasına geri dönüşüm (recycling) adı verilmektedir. Kazınarak geri kazanılan malzemenin yeni yapılacak kaplama tabakalarında kullanılması, kaynaklarımızın hem teknik hem de ekonomik anlamda daha verimli kullanılması açısından son derece önemlidir. Her geçen gün daha da genişleyen ülkemiz karayolu ağı, gelecek dönemlerde üstyapı iyileştirme faaliyetlerinin yoğun bir şekilde gündeme geleceğine işaret etmektedir. Kazınmış eski asfalt kaplama tabakalarının içerisinde bulunan ekonomik değeri yüksek bitüm ve agreganın yeniden yol yapımında kullanılması maliyetleri oldukça azaltacağı gibi çevrenin korunmasına da büyük oranda katkı sağlayacaktır.

Dünyada her yıl yaklaşık 1.5 milyar ton asfalt karışım üretimi için 1.425 milyar ton agrega ve 75 milyon ton bitüm tüketilmektedir. Diğer taraftan asfalt kaplama yolların yenilenmesi sırasında sökülen asfalt yığınları da doğaya terk edilmektedir. Sökülmüş asfalt kaplamaların geri kazanılarak ekonomik değere dönüştürülmesi mümkündür. (6)

Agrega ve bitüm doğal ve sınırlıdır. Bu nedenle bitümlü karışımlarda sıcaklığın düşürülmesinin yanı sıra agrega ve bitümün tekrar kullanılması da amaçlanmaktadır. Asfalt karışımlar %100 geri dönüştürülebilir. Avrupa'da her yıl 50 milyon ton RAP (Geri kazanılmış asfalt kaplama) üretilmekte ve bu malzeme yeni bitümlü karışımlarda tekrar kullanılmaktadır. Almanya, İsveç ve Hollanda sıcak ve ılık karışımlarda yüzdece en fazla RAP kullanan ülkelerdir. (7)

Kaplamanın iyileştirilmesi esnasında ısı kullanılıp kullanılmamasına göre, sıcak geri dönüşüm ve soğuk geri dönüşüm olarak iki ana başlıktan söz edilebilir. Bunlar da kendi içlerinde plentte ve yerinde olmak üzere iki türde uygulanabilmektedir.

Kaldırılan kaplamanın derinliğine bağlı olarak sınıflandırmaya katılan; yüzeysel geri dönüşüm ve tam derinlikli geri dönüşüm olmak üzere iki ana başlık daha bulunmaktadır.

Yoldaki trafik yoğunluğu kullanılacak işlemi seçmede etkili bir faktördür. Örneğin sıcak uygulama, yüksek trafik hacimli yollarda kullanılabilirken soğuk karışım, daha çok orta ve düşük trafik yoğunluğu olan yollarda tercih edilir.

Soğuk yerinde geri dönüşüm; bozulmuş kaplama tabakasının, bazı durumlarda temel tabakasını da içine alacak derinlikte, yerinde veya kaldırılarak soğuk olarak karıştırılarak yeniden işlenmesidir.

Tam derinlikli "geri dönüşüm (FDR), geri dönüştürücü yol makinesi tarafından yolun mevcut bitümlü tabakalarının öğütülerek ufalanması ve önceden belirlenmiş oranda temel veya alt temel malzemesi ile karıştırılması ile başlar.

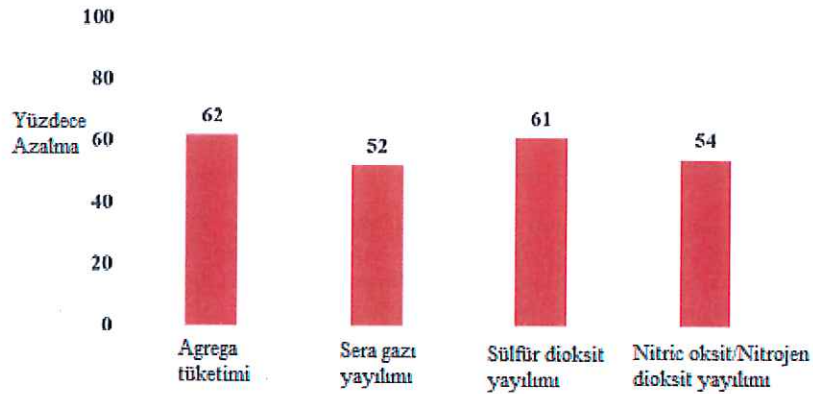
Tam derinlikli geri dönüşüm yönteminin diğer soğuk yerinde geri dönüşümünden en önemli farkı yoldaki çatlakların, bozulmaların yolun en üst tabakalarında kalmayıp temel seviyesine kadar inmesi durumunda uygulanmasıdır. (8)

2.1. Asfalt geri dönüşümünün avantajları

Malzeme ve yapım maliyetleri göz önüne alındığında; sıcak karışım asfalt kaplamalarda %20 - %50 aralığında RAP kullanımının, %14 - %34 aralığında tasarruf sağladığı tahmin edilmektedir. (9)

Bir başka çalışmaya göre, %50 RAP kullanılarak hazırlanan asfalt karışımlar, enerji tüketimi ve sera gazı salınımını %12,2'ye varan miktarlarda azaltmaktadır. (10)

Nevada Ulaştırma departmanı (NDOT) düşük ve orta hacimli yollarda 20 yılı aşkın bir sürede soğuk yerinde geri dönüşüm ve tam derinlikte geri kazanım yöntemleriyle, yeniden yapıma göre 600 milyon dolar tasarruf etmiştir. (5)



Grafik 2.1. Soğuk yerinde geri dönüşümün geleneksel sıcak karışıma göre sosyal, çevresel ve ekonomik avantajları (5)

Grafik 2.1.'de bazı avantajları görülen asfalt geri dönüşümünün genel olarak, sürdürülebilirliğe katkıları şunlardır:

- Emisyonların ve diğer hava kirleticilerin azaltılması
- Su kullanımının azaltılması
- Daha az enerji tüketimi

- Yapımda yeni malzemenin daha az kullanımı ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımının artırılması
- Çevresel olarak daha az yapım ve işletim etkisi
- Daha güvenli ve bütünleşik yollar yaratmak
- Sürdürülebilir ulaşımın desteklenmesi
- Sürdürülebilirlik bilincinin artırılması
- Yenilikçi çözümlerin tanıtımı (11)

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Karayolları Genel Müdürlüğü, Afyon Kocatepe Üniversitesi ve Süleyman Demirel Üniversitesi işbirliği ile 'Köpük Bitüm ile Yerinde Soğuk ve Tam Derinlikte Geri Kazanılmış Bitümlü Kaplamaların Karayolunda Kullanılabilirliğinin ve Performansının Araştırılması ve Mevzuat Önerisinin Oluşturulması' başlık bir proje yürütülmektedir.

Çalışma kapsamında Ankara Polatlı yolundan kazanmış BSK numunesi alınmış olup ilk olarak numunenin fiziksel değerlendirmesi için elek analizi, metilen mavisi, organik madde tayini, su emme, plastisite indeksi deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kazanmış BSK deney sonuçlarının KTŞ Bitümlü Temel Sınırları ile Kıyaslanması

Deney	KTŞ Bitümlü Temel Limitleri	Kazanmış BSK Agregası
Su Emme (%)	$\leq 2,5$	0,9
Plastisite İndeksi (%)	NP	NP
Organik Madde (%3 NaOH ile)	Negatif	Negatif
Metilen Mavisi (g/kg)	≤ 2	1

Daha sonra malzemenin mevcut gradasyonuna göre, köpük asfalt üretimi için gerekli optimum su, Modifiye Proktor deneyi ile %6 olarak tespit edilmiştir. Üretimlerden önce malzemenin su muhtevası %0,163 bulunmuş olup, üretim için gereken karışım suyu %5,837 olarak hesaplanmıştır.

Kullanılacak bitüm 50/70 sınıfında olup tüpraş rafinerisinden alınmıştır. Bitüme uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. 50/70 sınıfı bitüme uygulanan deney sonuçları

Deney	50/70 Sınıfı Bitüm Sonuçları
Penetrasyon (0,1mm)	53,6
Yumuşama Noktası (°C)	49,4
Parlama Noktası (°C)	290
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	1,036

3.1. İndirekt çekme mukavemetinin (İÇM) belirlenmesi

Şekil 3.1.'de görüldüğü şekilde, 50/70 sınıfı bitüm için; 160, 170 ve 180°C bitüm sıcaklıklarının her birinde %1, %2, %3 ve %4 su oranlarında 500'er gram bitüm ayrı ayrı köpürtülmüştür. Köpürtmeler sonucunda genleşme oranları ve yarılanma sürelerine göre en ideal köpürtme ısısı 170°C ve en ideal köpürtme suyu %3 olarak belirlenmiştir. En düşük genleşme oranı 160°C bitüm ısısında ve %1 su ile, en düşük yarılanma süresi 180°C ve %4 su miktarında elde edilmiştir. Köpürtme işlemi Şekil 3.3' de görülen Köpük Asfalt Laboratuvar Plenti ile gerçekleştirilmiştir.

Karışımlarda kullanılacak aktif filler tipi-oranı ve bitüm yüzdesi için, literatür bilgisine ve Karayolları tarafından daha önce yapılmış Kazan-Kızılcahamam-Gerede yolu Köpük Asfalt çalışmasına dayanarak; %1 oranında çimento ve %2,5 oranında bitüm seçilmiştir. Karayolları tarafından desteklenen ve Teşekkür kısmında belirtilmiş olan proje kapsamında tüm deneysel çalışmalar tamamlandıktan sonra optimum değerler tekrar değerlendirilecektir.

Sonuç olarak, %2,5 bitüm oranında ve aktif filler olarak %1 çimento kullanılarak 4 farklı üretim yapılmıştır. Bunlardan 1. Üretimde 50/70 bitümün köpürtülmesinden elde edilen en ideal köpürtme suyu ve köpürtme ısısı ile (170°C ve %3 su), 2. üretimde, köpürtme sonucunda genleşme oranının en düşük olduğu su yüzdesi ve ısıda (160°C ve %1 su), 3. üretimde, köpürtme sonucunda yarılanma süresinin en düşük olduğu su yüzdesi ve ısıda (180°C ve %4 su), 4. üretimde karışımda su kullanılmadan (170°C ve %3 köpürtme suyu), köpük asfalt üretimleri yapılmıştır. 1. üretimde, ilave olarak 6 briket üretilmiş ve bu briketler tekrar kuruma ve şartlandırılma koşullarına tabi tutulduktan sonra kırılmışlardır.



Şekil 3.1. Bitümün köpürtülmesi ve köpürdükten sonra sönmüş bitüm görünümü

Her üretim için 3 İÇM_{kuru}, 3 İÇM_{yaş} ve 3 adet hacim özgül ağırlık (Dp) hesabı için olmak üzere toplam 9 briket üretilmiştir.

Üretim esnasında öncelikle kazınmış BSK numunesi ve kullanılacak aktif filler karıştırma haznesine koyularak 15sn. kuru olarak karıştırıldı. Daha sonra Şekil 3.2.' de görüldüğü şekilde kullanılacak suyun bitüm püskürtülmeden önceki kısmı karışıma verildi ve 15 sn. daha karıştırıldı. Bitüm 100g/s debi ile püskürtüldü ve 30 sn. karıştırıldı. Son olarak karışım suyunun kalan kısmı ilave edilip 15 sn. daha karıştırıldı ve üretim tamamlandı. Ortaya çıkan Köpük Asfalt tepsiye alınarak briketlerin hepsi hazırlanana kadar nem kaybını önlemek için üzeri hafif nemli havluyla örtüldü. İÇM_{kuru}

ve $\dot{I}CM_{yaş}$ değerlerini belirlemek için briketler Marshall kompaktör ile her iki yüzüne 75'er darbe vurularak hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Köpük asfalt üretiminde kuru karışıma su ilavesi



Şekil 3.3. Köpük asfalt laboratuvar plenti ile köpük asfalt üretimi



Şekil 3.4. İÇM briketlerinin hazırlanışı ve briketlerin su banyosunda şartlandırılması



Şekil 3.5. Briketlerin İÇM değerlerinin bulunması



Şekil 3.6. Kırılan briketin iç kısmının görünümü

Üretilen briketler, 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak yükseklik, çap ve ağırlık ölçümleri alındıktan sonra 40°C etüvde 72 saat beklemeye bırakılmıştır.

Etüvden çıkarılan numuneler tartılmıştır. Bunlardan 3 tanesi $İÇM_{kuru}$ değerlerinin bulunması için kırılmış, 3 tanesi hacim özgül ağırlık bulunması için sonra suda tartılmış sonra da doymuş yüzey tartımları alınmıştır. Son 3 briket ise tartım alındıktan sonra Şekil 3.4.' te görüldüğü gibi 25°C su banyosuna koyularak 24 saat bekletilmiştir. Bu briketler de 24 saat sonra $İÇM_{yaş}$ değerlerini bulmak için Şekil 3.5.'de görüldüğü gibi kırılmışlardır. İlave olarak üretilen 6 briket, bu döngüden sonra tekrar 72 saat etüvde bekletilmiş ve 3 tanesi kuru olarak kırılmıştır. Diğer 3 briket ise etüvden çıkarıldıktan sonra 24 saat su banyosunda bekletilip daha sonra kırılmışlardır. Şekil 3.6.' da kırılan bir briketin iç görünüşü verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi püskürtülen bitüm karışım içinde topaklar şeklinde kalmaktadır.

$İÇM$ ve TSR değerleri aşağıdaki şekilde bulunmuştur:

$$İÇM (ITS) = (106 \cdot 2 \cdot P) / (\pi \cdot h \cdot d)$$

$İÇM (ITS)$: İndirect Tensile Strength (kPa) (Dolaylı Çekme Mukavemeti)

P: Uygulanan maksimum yük (kN)

h: Numunenin ortalama yüksekliği (mm)

d: Numunenin çapı (mm)

TSR = Tensile Strenght Retain (Korunmuş $İÇM$ oranı)

$$TSR = (Ortalama \mathit{İÇM}_{yaş} / Ortalama \mathit{İÇM}_{kuru}) \cdot 100 \quad (13)$$

Çizelge 3.3. Üretimlere ilişkin elde edilen sonuçlar

Üretim Kodu	Ort. Çap (mm)	Ort. Yükseklik (mm)	Ort. Havadaki ağı. (gr)	Ort. Sudaki ağı. (gr)	Ort. DYKA (gr)	Ort. Hacim (cm ³)
1. Üretim	101,53	63,16	1103,10	623,60	1129,10	505,50
İlave Brik.	101,52	63,34	1102,00	624,20	1129,56	505,36
2. Üretim	101,50	64,67	1103,63	611,40	1127,43	516,03
3. Üretim	101,50	64,32	1103,43	612,47	1126,70	514,23
4. Üretim	101,52	65,55	1026,97	576,50	1088,57	512,07
Üretim Kodu	Ort. Dp (gr/cm ³)	Ort. Yük Kuru (kg)	Ort. Yük Yaş (kg)	Ort. Kuru İÇM (kpa)	Ort. Yaş İÇM (kpa)	TSR (%)
1. Üretim	2,18	222,00	218,00	221,13	216,48	97,90
İlave Brik.	2,18	320,33	287,00	317,94	283,14	89,05
2. Üretim	2,14	220,67	245,33	213,96	237,92	111,20
3. Üretim	2,15	210,67	241,33	205,41	235,41	114,60
4. Üretim	2,01	20,50	50,00	19,64	47,85	243,63

4. SONUÇ

Deneyisel çalışmalarda elde ettiğimiz sonuçlara göre aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır:

1. Bitüm köpürtülmesi sırasında kullanılan köpürtme suyu ve köpürtme ısısındaki değişiklikler köpük asfaltın İÇM değerini çok etkilememiştir.

2. Üretim esnasında su kullanılmadığı zaman İÇM değerleri çok düşmüştür. Susuz üretimde İÇM_{yaş} değeri İÇM_{kuru} değerine göre oldukça yüksek çıkmıştır. Numunenin şartlandırma esnasında 24 saat suda bekletilmesinden dolayı çimentonun hidrasyon yapması bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir.

3. 1. üretimde, ilave olarak üretilen briketlerin ilk etüvleme ve su banyosu periyodu sonrası tekrar etüvlenmeleri sonucu yapılan kuru kırım sonuçları 1. üretimin normal kırım briketlerine göre oldukça yüksek sonuç vermiştir. Etüvden sonra tekrar su banyosunda bekletildikten sonra elde edilen yaş kırım sonuçları da 1. üretimin yaş kırım sonucuna göre daha yüksek sonuç vermiştir ancak kuru kırımlar arasındaki fark kadar büyük bir fark bulunmamıştır. Değerlerdeki artış nedeninin zamanla gelişen hidrasyon olayı olduğu düşünülmektedir.

Proje kapsamında, deneyisel çalışmalar ve analizler devam etmektedir. Bu çalışmalar ışığında Köpük Bitümle Asfalt Geri Dönüşüm Şartnamesi hazırlanacaktır.

Projeye ilişkin gerekli analizler tamamlandıktan ve gerekli şartname çıkarılıp köpük asfalt uygulamasına geçildikten sonra;

1. Atık asfaltların işgal ettiği depo alanları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan çevresel tahribat,

2. Atık asfaltların nakliyesi azalacaktır. Böylece enerji tüketimi ve çevreye sera gaz yayılımı azalacaktır.

3. Yeni agrega ihtiyacı azalacaktır. Bu sayede çevresel tahribat ve agreganın elde edilmesinde harcanan enerji tüketimi azalacaktır.

4. Bitüm ihtiyacı ve buna bağlı olarak yapım maliyetleri azalacaktır.

Bu avantajlarıyla ülkemizde köpük asfalt uygulamasına geçilmesi, ekonomik ve çevresel anlamda sürdürülebilir kalkınmaya fayda sağlayacaktır.

Ayrıca; ülkemizin, 70000 km bölünmüş yol çalışması hedefleri kapsamında mevcut karayollarının yenilenmesi planlanmaktadır. Bahsedilen yenileme çalışması ile büyük hacimde atık yol malzemesi ortaya çıkacağı yadsınamaz bir gerçektir. Ortaya çıkacak olan bu atığın en efektif şekilde değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Köpük Asfalt uygulaması ile sürdürülebilir ulaştırmaya katkının yanı sıra ülkemizin milli servetinin daha verimli kullanılması da hedeflenmektedir. Aşağıda bahsi geçen projeler kapsamında yürütülen deneysel çalışmalar tamamladıktan sonra gerekli maliyet analizleri yapılarak uygulamanın ekonomimiz açısından faydaları sayısal verilerle ortaya koyulacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 4939-D1-17 numaralı Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından ve KGM-ARGE/2017-1 numaralı proje ile Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından desteklenmiştir. Deneysel çalışmalar Karayolları 4. Bölge Müdürlüğü'nde yapılmıştır.

KAYNAKLAR

1. LEYDEN, K., HEALY, D., DOUTHWAITE, R., LUMLEY, I., GIBBONS, M., MURRAY, A., FARREL, K., GUCKIAN, B., JOHNSTON, P., (2007) A sustainability assessment process for road-building and other development in Ireland, The Foundation For The Economics Of Sustainability, Section 3
2. <http://www.worldhighways.com/categories/asphalt-paving-compaction-testing/features/sustainable-road-construction-current-practices-and-future-concepts/>
3. LITMAN, T. (1999) Transportation Cost Analysis for Sustainability, Victoria Transport Policy Institute, Canada
4. İPEKÇİ, C. A., COŞGUN, N., ESİN, T., (2015) İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi, 2nd International Sustainable Building Symposium, Ankara
5. XIAO, F., YAO, S., WANG, J., LI, X., AMIRKHANIAN, S., (2018) A literature review on cold recycling technology of asphalt pavement, Construction and Building Materials 180 (2018) 579–604

6. ORUÇ, Ş., YILMAZ, B., MAZLUM, M. S., (2017) Geri Kazanılan AsfaltKaplamların Sıcak Asfalt Karışımlarda Yeniden Kullanabilirliğinin Araştırılması, Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, 30(1), 87-93, 2018
7. ALMEIDA, M. D., AFONSO, M. L., (2015) Warm Mix Recycled Asphalt – a sustainable solution, Journal of Cleaner Production 107 (2015) 310e316
8. SALTA, İ., (2010) Bitümlü Karışımların Geri Dönüşüm Yöntemlerinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi
9. AL-QADI, I. L., ELSEIFI, M., CARPENTER, S. H., (2007) RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT – A LITERATURE REVIEW, CIVIL ENGINEERING STUDIES, Illinois Center for Transportation Series No. 07-001 UILU-ENG-2007-2014 ISSN: 0197-9191
10. YANG, R., KANG, S., OZER, H., AL-QADI, I. L., (2015) Environmental and economic analyses of recycled asphalt concrete mixtures based on material production and potential performance, Resources, Conservation and Recycling 104 (2015) 141 151
11. BEMANIAN, S., POLISH, P., MAURER, G., (2006) Cold In-Place Recycling and Full-Depth Reclamation Projects by Nevada Department of Transportation: State of the Practice, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 1949, DOI: 10.3141/1949-06
12. <https://www.aurecongroup.com/thinking/thinking-papers/sustainable-roads-initiative>
13. WIRTGEN, 2012. Cold Recycling – Wirtgen Cold Recycling Technology, Wirtgen Cold Recycling Manual